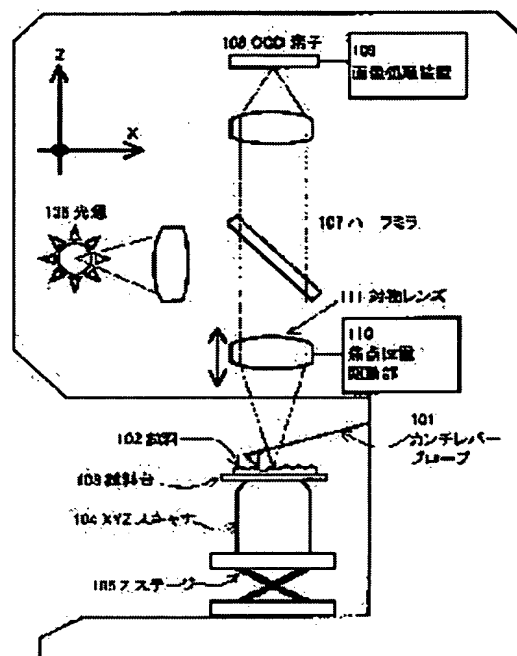


(11)Publication number : **2002-323426**
(43)Date of publication of application : **08.11.2002**

GO1N 13/10
GO1B 11/00
GO1B 11/14
GO1C 3/06
GO2B 21/00
GO2B 21/26

(71)Applicant : **SEIKO INSTRUMENTS INC**
(72)Inventor : **UMEKI TAKESHI**

The probe microscope is also provided with an image pickup element which fetches the image of the optical microscope as a digital image, a processor which can process the fetched image, and a driving mechanism which can change the focal position of the optical microscope. In addition, the probe microscope is also provided with a Z-stage mechanism which can change the interval between the probe and the surface of the sample.



[Date of request for examination]
[Date of sending the examiner's decision of rejection]
[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]
[Date of final disposal for application]
[Patent number]
[Date of registration]
[Number of appeal against examiner's decision of rejection]
[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]
[Date of extinction of right]

2006/01/16

(43)公開日 平成14年11月8日(2002.11.8)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	データベース*(参考)
G 0 1 N 13/10		C 0 1 N 13/10	F 2 F 0 6 3
G 0 1 B 11/00		C 0 1 B 11/00	H 2 F 1 1 2
	11/14		H 2 H 0 5 2
G 0 1 C 3/06		C 0 1 C 3/06	P
G 0 2 B 21/00		C 0 2 B 21/00	

審査請求 未請求 請求項の数4 OL (全 7 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願2001-126417(P2001-126417)

(22)出願日 平成13年4月24日(2001.4.24)

(71)出願人 000002325
セイコーインスツルメンツ株式会社
千葉県千葉市美浜区中瀬 1 丁目 8 番地

(72)発明者 梅基 毅
千葉県千葉市美浜区中瀬 1 丁目 8 番地
セイコーインスツルメンツ株式会社内

(74)代理人 100096378
弁理士 坂上 正明

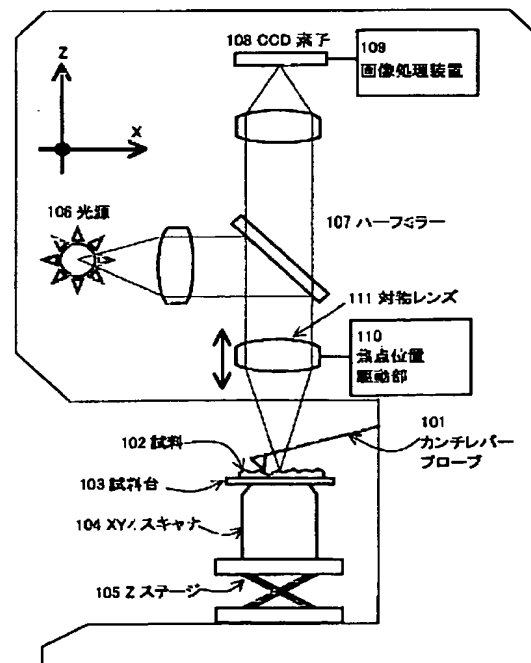
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 走査型プローブ顕微鏡

(57) 【要約】

【課題】 光学顕微鏡を備えた走査型プローブ顕微鏡において、プローブを試料表面へ接近させる時間を短縮した機能を有する走査型プローブ顕微鏡を提供する。

【解決手段】 測定試料およびプローブを観察することができる光学顕微鏡を備えた走査型プローブ顕微鏡において、光学顕微鏡像をデジタル画像として取り込むための撮像素子と、取り込まれた画像を処理することのできる処理装置と、光学顕微鏡の焦点位置を変更することができる駆動機構と、プローブと試料表面の間隔を変更することができるZステージ機構を備える。



(2) 002-323426 (P2002-323426A)

【特許請求の範囲】

【請求項1】 プローブ及び測定試料表面を観察することのできる光学顕微鏡と、
光学顕微鏡の焦点位置を制御することのできる駆動装置と、
光学顕微鏡の画像をデジタルデータとして取り込み、処理を行うことのできる画像処理装置と、
プローブと試料の間隔を変更するためのZ方向に可動な試料ステージを備える走査型プローブ顕微鏡において、
プローブを試料表面に接近させる際に、光学顕微鏡の焦点位置をZ方向に繰り返し走査しながら、画像処理装置が取り込まれた光学顕微鏡の画像に対して焦点度合いの評価を行い、プローブまたは試料表面、あるいはプローブと試料表面療法のそれぞれの地点に焦点が一致する位置を調べることにより、プローブと試料の間隔を断続的に測定する手順を有することを特徴とする走査型プローブ顕微鏡。

【請求項2】 プローブ及び測定試料表面を観察することができ、自動焦点機能を有する光学顕微鏡と、
光学顕微鏡の焦点位置を制御することのできる駆動装置と、
プローブと試料の間隔を変更するためのZ方向に可動な試料ステージを備える走査型プローブ顕微鏡において、
プローブを試料表面に接近させる際に、光学顕微鏡の焦点位置をZ方向に繰り返し走査しながら観察を行い、プローブまたは試料表面、あるいはプローブと試料表面の双方に焦点が一致するそれぞれの高さから、プローブと試料の間隔を連続的に測定する手順を有することを特徴とする走査型プローブ顕微鏡。

【請求項3】 あらかじめモデル画像として登録されたプローブの画像をもとにして、テンプレートマッチング処理を行うことによって取り込まれた光学顕微鏡画像の中からプローブ像を抽出し、テンプレートマッチングの結果得られた相関係数からカンチレバープローブの焦点度合いの評価を行うことで、カンチレバープローブへの自動焦点機能を有することを特徴とする請求項1に記載の走査型プローブ顕微鏡。

【請求項4】 プローブ及び測定試料表面を観察することのできる光学顕微鏡と、
光学顕微鏡の焦点位置を制御することのできる駆動装置と、
光学顕微鏡の画像をデジタルデータとして取り込み、処理を行うことのできる画像処理装置と、
プローブと試料の間隔を変更するためのZ方向に可動な試料ステージを備える走査型プローブ顕微鏡において、
あらかじめモデル画像として登録されたプローブの画像をもとにして、テンプレートマッチング処理を行うことによって取り込まれた光学顕微鏡画像の中からプローブ像を抽出し、テンプレートマッチングの結果得られた相関係数からカンチレバープローブの焦点度合いの評価を

行うことで、カンチレバープローブへの自動焦点機能を有することを特徴とする走査型プローブ顕微鏡。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、走査型プローブ顕微鏡に関する。特に、光学顕微鏡を備えた走査型プローブ顕微鏡装置に関する。

【0002】

【従来の技術】一般に、走査型プローブ顕微鏡は、先端が微細なプローブを、対象とする試料表面の極近傍に接近させ、プローブ先端と試料表面の間に働く相互作用を検知しながら、プローブを試料表面に対して機械的に走査させることで、試料表面の形状や物理的性質をナノメートルオーダーの高分解能で観察することのできる顕微鏡である。

【0003】このような走査型プローブ顕微鏡においては、プローブをもちいた観察は微小な範囲であるため、あらかじめ別の観察手段を用いて、観察したい場所にプローブの位置を合わせる必要がある。そのため、実用的な用途においては、多くの走査型プローブ顕微鏡は位置合わせのための光学顕微鏡を備えている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】ところが、従来の走査型プローブ顕微鏡においては、光学顕微鏡による試料およびプローブの観察、および位置合わせはオペレータが手動で行う必要があり、一連の測定操作を自動化する上での障害となっていた。

【0005】また、走査型プローブ顕微鏡で測定するためには、プローブを観察試料表面の極近傍まで接近させる必要があるのに対し、試料やプローブを交換する際には、試料やプローブを損傷しないように、間隔を十分離れた状態にする必要がある。

【0006】プローブ先端は微細でかつ、微小な力を検知して測定を行うために、プローブが試料表面に接近させる際には、プローブが損傷しないように十分遅いスピードで接近する必要がある。そのため、従来の装置では、プローブと試料を近づけるのに1分程度の長い時間がかかっていたという問題があった。

【0007】走査型プローブ顕微鏡の観察を行うためには、プローブと試料表面間の距離が10ナノメートル程度になるまで接近させる必要があることから、Zステージはナノメートルオーダーの高精度な位置制御を行う必要があるが、機械的なステージでは、ギアのバックラッシュや原点の位置ずれが避けられず、また機構部品の熱膨張、収縮などにもとづく絶対位置の経時変化がある。従来、ステージの位置再現性を確保するために、Zステージの位置を検出する位置センサーを外部に設置して、Zステージの位置を常に監視する方法が提案されているが、装置が高価になるという問題点があった。

【0008】

(3) 002-323426 (P2002-323426A)

【課題を解決するための手段】本発明では、光学顕微鏡の焦点位置を連続的に繰り返し走査させて、プローブおよび試料表面の焦点位置から、プローブと試料表面の間隔を断続的に測定する。光学顕微鏡像を元にして間隔を測定することで、Zステージの位置再現性のばらつきを補正することができる。

【0009】本発明における自動焦点機構については、光学顕微鏡による画像をCCD素子（Charge Coupled Device、電荷結合素子）などの撮像素子を用いてデジタル信号として取り込むとともに、デジタル画像処理によって焦点の度合いを評価して、焦点位置の駆動機構を組み合わせることで自動焦点機構を実現する。

【0010】画像処理には汎用のマイクロコンピュータ、あるいは信号処理プロセッサを利用することで、焦点位置検出のための専用の光学系を不要にし、装置構成の簡略化による低価格化および調整作業の削減を実現する。

【0011】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明を詳細に説明する。図1は、本発明の一実施形態の走査型プローブ顕微鏡について、本発明に関係する主要部の構成を示した図である。

【0012】本実施例においては、走査型プローブ顕微鏡の一種である原子間力顕微鏡（AFM、Atomic Force Microscope）が組み込まれた装置が示されている。走査型プローブ顕微鏡の測定は、微小な力を検知するカンチレバープローブ101が、XYZスキャナ104によって試料102の表面を走査されることで行われる。

【0013】試料102は、試料台103に設置されており、XYZスキャナ104が試料台103を駆動して微動走査を行うことで、プローブ顕微鏡の測定が行なわれる。

【0014】装置内には対物レンズ111、光源106などから構成される光学顕微鏡が組み込まれており、試料102やカンチレバープローブ101の観察を行うことができる。顕微鏡の画像はCCD素子108によって撮像され、デジタル画像として画像処理装置109に取り込まれる。また、光学顕微鏡には焦点位置を変更することのできる駆動装置110が組み込まれており、コンピュータを通して制御されている。

【0015】XYZスキャナと試料台は、Zステージ105によって上下に移動させることができ、カンチレバープローブと試料表面の間隔を調整する粗動機構として使用される。

【0016】以上に述べた構成の走査型プローブ顕微鏡において、以下に示す手順によって測定が行われる。

【0017】走査型プローブ顕微鏡による測定を行う前の準備段階として、試料の試料台への設置、あるいはカンチレバープローブの装置への装着を行う。これを行う際に、カンチレバープローブと試料が互いに接触して損傷することを防ぐために、Zステージを下げて、試料表

面とカンチレバーの間隔を十分（本実施例においては20mm以上）離れた状態にする。

【0018】試料及びカンチレバープローブを取付けた後、Zステージを上昇させて、カンチレバープローブと試料表面の距離が $G1 \pm \Delta G1$ となる地点まで接近させる。 $G1 \pm \Delta G1$ の値は、光学顕微鏡の焦点位置が調節できる範囲に収まるような値とする。本実施例においては、焦点調節範囲が5mmであることから、 $G1$ を4mmに設定して、 $\Delta G1$ については、Zステージの位置再現性や、カンチレバーの取付け位置の再現性、設置するサンプル厚さのばらつきなどを考慮して、本実施例では0.5mmに設定する。カンチレバープローブと試料表面の距離を $G1 \pm \Delta G1$ にまで接近させても、カンチレバーと試料表面が衝突する危険性は十分低いことから、ステージを移動させる速度は、このあとの接近段階に比較して十分高速に設定することができ、従来の装置より短時間で手順をすすめることができる。

【0019】つづいて、光学顕微鏡の焦点位置を可動範囲内で上下に繰り返し走査させる。

【0020】走査の方法は、たとえば三角波的な駆動や、鋸歯状波、正弦波などのいずれかの駆動波形で行うことができる。このように焦点位置を絶えず移動させながら、断続的に光学顕微鏡の画像を取り込み、各焦点位置での画像の焦点度合いを繰り返し評価する。この段階では、焦点の調節可能範囲内にカンチレバープローブと、試料表面が存在しており、焦点位置を走査したときの焦点度合いの評価値は図2でしめすような依存性となる。図2における2つのピークはそれぞれカンチレバープローブならびに試料表面に焦点が合っていることをあらわしており、それぞれのピークに対応する地点が、カンチレバープローブならびに試料表面のある位置である。

【0021】この走査によって、2つの焦点位置の距離から、カンチレバープローブと試料表面との間隔を測定することができる。カンチレバープローブと試料表面が衝突しないように間隔を連続的に監視しながら、さらにZステージを用いてカンチレバープローブと試料表面の間隔を $G2 \pm \Delta G2$ の距離まで接近させる。 $G2 \pm \Delta G2$ の値は、XYZスキャナのZ軸駆動可能範囲に収まるような値に設定する。XYZスキャナのZ軸駆動可能範囲は本実施例では10μmである。 $G2$ の値は、Zステージ位置の繰り返し再現性を考慮して2μmと設定する。 $\Delta G2$ の値は、光学顕微鏡の焦点深度、光学顕微鏡画像から焦点の度合いを測定する際の誤差、焦点位置制御の精度、Zステージの高さ分解能などから十分実現可能な値を設定することができる。本実施例では、0.2μmとする。

【0022】また、この段階でZステージの速度は、焦点位置の駆動周波数、光学顕微鏡画像とりこみや焦点度合い評価にかかる時間、Zステージの駆動装置の応答速度、などを元にして設定することができる。図3に示すように、カンチレバープローブと試料表面の間隔を断続

(4) 002-323426 (P2002-323426A)

的に監視しながら接近動作を行うので、動作中、外部からの振動ノイズなどにより、突然カンチレバープローブと試料表面が接近するようなことがあっても、Zステージを離す制御を行うことによって衝突を未然に防ぐことができ、従来の装置に比べてカンチレバープローブや測定試料が破損する危険性が減少するという利点がある。衝突の危険性が低減することから、Zステージの接近速度を従来装置よりも速く設定することができ、接近にかかる時間を短縮できるという利点もある。

【0023】なお、本実施例においては、カンチレバープローブの位置は固定で、試料のほうをカンチレバープローブに接近させることから、カンチレバープローブの位置は接近前に1度だけ測定し、その後の接近動作の過程においては、移動する試料表面位置だけを追跡して測定する方法をとることもできる。その際には、測定前に一度だけ焦点位置可動範囲全体で大きく走査することで試料表面位置を捕捉し、その後の接近動作では、試料表面位置から微小な上下範囲に走査範囲を狭くして走査を行うことで試料表面位置を連続的に追跡して把握することができる。

【0024】カンチレバープローブが試料表面の距離が目標値 $G2 \pm \Delta G2$ まで接近したら、Zステージによる接近動作を停止させ、そのあとはXYZスキャナを用いてカンチレバープローブを試料表面の近傍まで接近させる。カンチレバープローブが探針と試料表面の間に働く相互作用力を検知できる間隔（数10nm）まで接近したら、接近動作は完了となり、以降は走査型プローブ顕微鏡による測定が可能になる。

【0025】以上述べたような手順を踏むことで、カンチレバープローブと試料表面が比較的近接していて衝突の危険性が高い段階において、カンチレバープローブと試料表面の距離は常に把握されているので、経年変化や環境の変化にともなうZステージの位置制御のばらつきや、外部からの振動ノイズなどによる距離の変動に影響されることがない。そのため、Zステージのばらつきを見込まずにすむような、従来よりも近接した地点まで高速に接近させることができる。その結果、従来よりも接近動作全体にかかる時間が短くなる上、人手を介さず自動的に接近動作を行っても衝突する危険性は低減されるという利点がある。

【0026】また、光学顕微鏡の画像をもとにして間隔を把握することから、Zステージ自体に高精度な位置再現性を持たせたり、Zステージに距離センサーを設置せずに、これらの利点が得られるという特徴がある。

【0027】また、本実施例においては、CCDで画像をデジタルデータとして取り込んだうえ、取り込まれた画像をデジタル的に画像処理することで焦点の度合いを評価している。従来より、専用の光学系を用いた自動焦点機構を備えた顕微鏡が提案されており、本発明においてもそのような機構を利用した装置を実現することができ

るが、本実施例では、焦点度合いの評価をコンピュータのソフトウェアで実現しており、自動焦点機構のための新たな光学系やハードウェアが不要であるため、装置の構成が複雑にならず、専用光学系を備えた場合に必要な調整作業も不要であり、従来よりも簡便で安価に装置を実現することが可能になるという利点がある。

【0028】焦点度合いの評価については、とりこまれた画像データに対し、ソーベルフィルタまたは微分処理といったエッジ強調処理を施したあと、得られた画像の平均輝度を評価することで、焦点の度合いを相対的に求めることができる。この手法は、従来より実際に焦点度合いの評価に利用されており、本発明においてもその手法を利用することができる。

【0029】別の評価方法として、カンチレバープローブや、シリコンウェハの位置合わせマークといった、あらかじめ形状のわかっている物体を対象にする場合は、パターン認識技術を用いることで、焦点合せをおこなうことができる。たとえば、パターン認識技術の一種の手法であるテンプレートマッチングを利用することを例に挙げる。この場合、対象物体に焦点がもっとも合った画像をあらかじめテンプレート画像として登録しておく。焦点度合いを評価するには、とりこまれた顕微鏡画像に対して、登録された画像をテンプレートとしてテンプレートマッチングを行う。

【0030】顕微鏡の焦点位置を少しずつ動かしながら、テンプレートマッチング処理を行うことで、焦点の最も合った状態で、テンプレートマッチングマッチングの相関係数が最も高くなることから、自動焦点機構を実現することができる。

【0031】カンチレバープローブへの自動焦点機構にパターン認識技術を用いることで、自動焦点動作を行う際に、カンチレバープローブではなく観察試料表面に焦点を合わせてしまう誤動作の可能性がなくなるという利点がある。また、焦点合せ機能に加えて、試料平面内における場所も特定できることから、XYステージを組み合わせることでカンチレバープローブの位置合わせが同時に行えるという利点がある。

【0032】さらに、カンチレバープローブにパターン認識技術を用いることで、形状や大きさが異なる複数種類のカンチレバープローブを交換しながら使い分ける場合に、装着されたカンチレバープローブの種別を自動的に判別することが可能である。カンチレバープローブの種別を判別することによって、走査型プローブ顕微鏡の測定条件をそれぞれの種類のカンチレバープローブに最適なものに切り換えることが可能になり、従来よりも高精度な測定自動化を行うことができるという利点がある。

【0033】

【発明の効果】本発明により、以下のような効果が得られる。

【0034】プローブを試料表面に接近させる際に、接

(5) 002-323426 (P2002-323426A)

近動作の過程で断続的にプローブと試料表面の間隔が測定されていることから、従来よりも衝突の危険性が低く、自動的かつ従来よりも短時間で接近を完了させることができる。測定全体にかかる人手や時間を削減することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施形態の走査型プローブ顕微鏡について、本発明に関係する主要部の構成を示した図である。

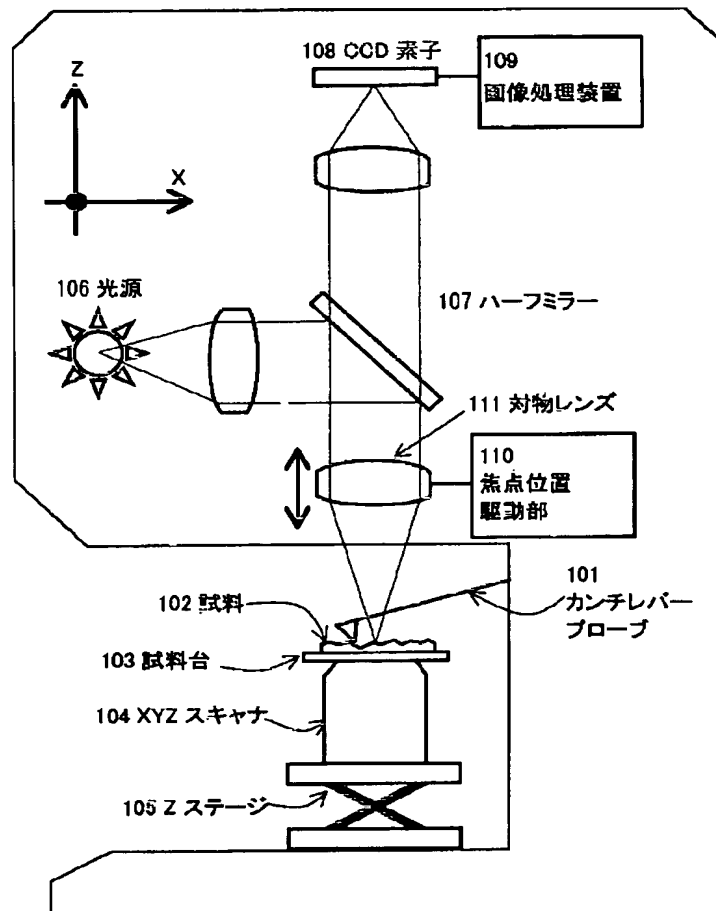
【図2】焦点位置を走査したときの焦点度合いの評価値を示す図である。

【図3】カンチレバープローブと試料表面の間隔の時間変化を示す模式図である。

【符号の説明】

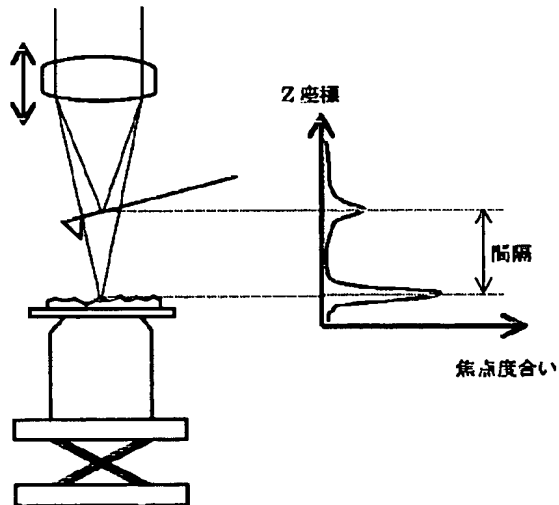
- 101 カンチレバープローブ
- 102 試料
- 103 試料台
- 104 XYZスキャナ
- 105 Zステージ
- 106 光源
- 107 ハーフミラー
- 108 CCD素子
- 109 画像処理装置
- 110 焦点位置駆動部
- 111 対物レンズ

【図1】

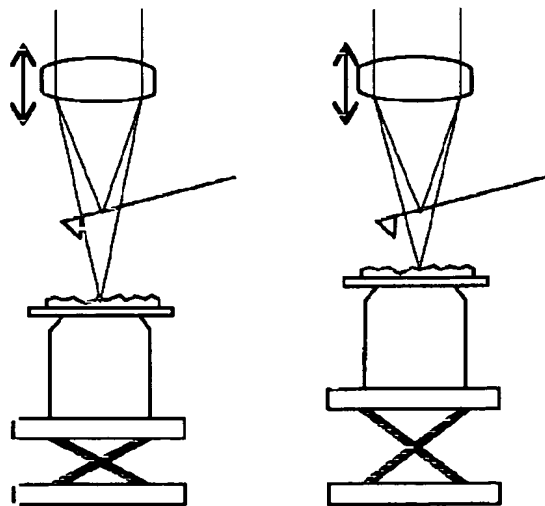
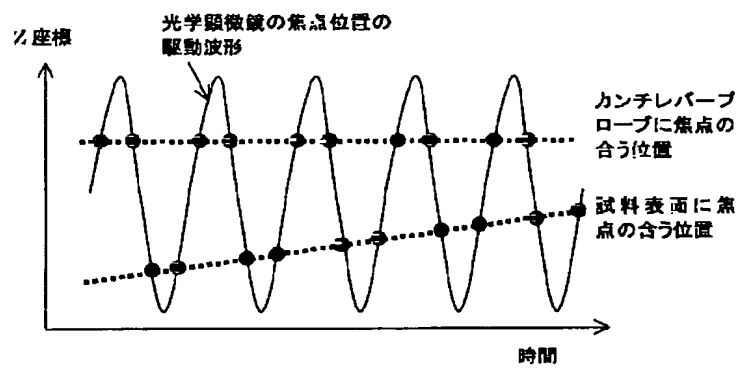


(6) 002-323426 (P2002-323426A)

【図2】



【図3】



!(7) 002-323426 (P2002-323426A)

フロントページの続き

(51)Int.Cl.⁷

識別記号

F I

(参考)

G 0 2 B 21/26

G 0 2 B 21/26

F ターム(参考) 2F065 AA06 AA22 DD06 FF10 JJ03
JJ09 JJ26 PP12 PP24
2F112 AB10 BA05 CA07 CA20 DA15
FA03 FA07 FA27 FA32 FA38
2H052 AA07 AC04 AD06 AD19 AF02
AF25